

Müller · Hoffmann & Partner - P.O. Box 80 12 20 - D-81612 München

**Europäisches Patentamt**

**80298 München**

European Patent Attorneys  
European Trademark Attorneys

Dipl.-Ing. Frithjof E. Müller  
Dr.-Ing. Jörg Peter Hoffmann  
Dipl.-Ing. Dieter Kottmann  
Dr. Bojan Savic, Dipl.-Chem.

Innere Wiener Strasse 17  
D-81667 München

Telefon (ISDN): (089) 48 90 10 - 0  
Telefax (Group 3): (089) 48 90 10-44  
Telefax (Group 3): (089) 48 90 10-33  
E-Mail: mail@mh-patent.de  
Internet: www.mh-patent.de  
AG München PR 314

PCT/EP2004/013447  
LITEF GMBH  
Unsere Akte: 56.205

24.10.2005  
Mü/My/cr

**Auf den schriftlichen Bescheid der Internationalen Recherchenbehörde vom  
4. März 2005:**

1. In der Anlage werden die folgenden Unterlagen eingereicht:

- neue Patentansprüche 1 bis 8;
- neue Beschreibungsseiten 1 bis 5a;

2. Das Internationale Vorläufige Prüfungsverfahren soll mit den folgenden Unterlagen fortgesetzt bzw. abgeschlossen werden:

- neue Patentansprüche 1 bis 8 gemäß Anlage;
- neue Beschreibungsseiten 1 bis 5a gemäß Anlage;
- ursprüngliche Beschreibungsseiten 6 bis 15;
- ursprüngliche Figurenblätter 1/4 bis 4/4 mit Figuren 1 bis 4.

3. Die neu eingereichten Patentansprüche 1 bis 8 entsprechen den mit Schreiben vom 4. Mai 2005 bei der WIPO eingereichten Patentansprüchen 1 bis 8 (Art. 19 PCT).

Der neue Patentanspruch 1 basiert auf einer Kombination der ursprünglichen Patentansprüche 1, 2 und 5.

Da das im neuen Patentanspruch 1 definierte Quadraturbias-Kompensationsverfahren in der Druckschrift D1 nicht gezeigt ist, ist das Quadraturbias-Kompensationsverfah-

**BEST AVAILABLE COPY**

ren gemäß dem neuen Patentanspruch 1 neu gegenüber der Druckschrift D1.

Die neuen Patentansprüche 2 und 3 entsprechen den ursprünglichen Patentansprüchen 3 und 4. Der neue Patentanspruch 4 basiert auf einer Kombination der ursprünglichen Patentansprüche 6, 7, 8 und 9. Die neuen Patentansprüche 5 bis 8 entsprechen den ursprünglichen Patentansprüchen 10 bis 15. Die ursprünglichen Patentansprüche 9 bis 15 wurden gestrichen.

4. Das in Druckschrift D1 (US 2003/0061877 A1) beschriebene Quadratur-Kompensationsverfahren basiert auf der Verwendung von Wechselkräften, deren Frequenz und Phase direkt von der Anregungsschwingung (d.h. dem Schwingungsverhalten der "dither mass" (Bezugsziffern 87, 99)) abhängt. Zur Erzeugung der Wechselkraft dienen die mit Bezugsziffern 121, 127 bezeichneten Elektroden, an die eine Gleichspannung angelegt wird. Da sich die dazu korrespondierenden Elektroden (Bezugsziffern 93, 105) der sensierenden Schwinger (Bezugsziffern 89, 10) bei Anregung der Anregungsschwinger (Bezugsziffern 87, 99) über die Elektroden 121, 127 hin- und herbewegen, entstehen über kapazitive Kopplungseffekte zwischen den Elektroden 93, 121 sowie 105, 127 Wechselkräfte, deren Stärke durch die Stärke der Gleichspannung geregelt wird, und die zur Kompensation des Quadraturbias dienen.

Nachteilig an dem in Druckschrift D1 offenbarten Verfahren ist, dass die zur Quadraturbias-Kompensation benötigte Elektrodenstruktur relativ kompliziert ist. Weiterhin wird die eigentliche Ursache des Quadraturbias - die Nicht-Orthogonalität der Erregungsschwingung (des Erregungsschwingers) zur sensierenden Schwingung (zum sensierenden Schwinger) - nicht beseitigt.

Im Gegensatz hierzu wird im erfindungsgemäßen Quadraturbias-Kompensationsverfahren die gegenseitige Ausrichtung des Erregungsschwingers zum sensierenden Schwinger geändert (durch entsprechende Ausrichtung (z. B. Orthogonalisierung) der Federelemente, an denen die Schwinger aufgehängt sind). Der Quadraturbias wird damit am Entstehungsort selbst kompensiert, was wiederum eine vereinfachte Elektrodenanordnung (zur Kompensation werden anstelle von Wechselkräften Gleichkräfte benutzt) nach sich zieht. Durch die Eliminierung des Quadraturbias an seinem "Entstehungsort" kann demnach ein vereinfachter Aufbau des Kompensations-Elektrodensystems bewirkt werden.

5. In der Druckschrift D1 ist nirgends angeregt, durch gegenseitige Ausrichtung der Schwinger mittels einer Gleichkraft den Quadraturbias direkt an seinem Entstehungsort zu kompensieren. Vielmehr stellt das in Druckschrift D1 beschriebene Elektroden-system ein zentrales Element der Lehre der Druckschrift D1 dar, da das Elektroden-system durch die spezielle Schwingerstruktur, die Gegenstand der Ansprüche ist, impliziert wird. Mit dem speziellen Elektroden-system ist jedoch der Einsatz von Gleichkräf-

ten zur Quadraturbiaskompensation nicht möglich.

Der Gegenstand des neuen Patentanspruchs 1 beruht damit auch auf einer erfinderischen Tätigkeit.

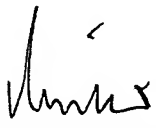
Für den neuen Patentanspruch 4, der dem neuen Patentanspruch 1 entspricht, gelten alle Überlegungen hinsichtlich Neuheit und Erfindungshöhe analog.

6. Die im Kontext von Dokument D1 erfolgten Überlegungen hinsichtlich Neuheit und Erfindungshöhe lassen sich in gleicher Art und Weise auf die Lehren der Druckschriften D2 (WO-A-03/058167) und D3 (US-A-6,067,858) übertragen, da die in den Druckschriften D2 und D3 offenbarten Verfahren zur Kompensation des Quadraturbias ebenfalls anstelle von Gleichkräften Wechselkräfte einsetzen.

7. Die Beschreibung wurde an die neu eingereichten Patentansprüche angepasst. Der von der Prüfungsstelle angeführte Stand der Technik wurde in der Beschreibungseinführung gewürdigt.

Es wird gebeten, den Internationalen Vorläufigen Prüfungsbericht unter Berücksichtigung der in Punkt 2. genannten Unterlagen zu erstellen.

8. Sollte es der mit der Internationalen Vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde trotzdem neu vorgelegten Unterlagen noch nicht möglich sein, den Internationalen Vorläufigen Prüfungsbericht ohne jegliche Beanstandung zu erstellen, wird um eine formlose Erörterung gemäß Regel 66.6 PCT gebeten.



Frithjof E. Müller  
Patentanwalt

- Zusammenschluß Nr. 152 -

**Anlagen:**

- neue Patentansprüche 1 bis 8;
- neue Beschreibungsseiten 1 bis 5a;

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation in einem Corioliskreisels, dessen Resonator (1) als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger (3, 4) ausgestaltet ist, wobei der erste Schwinger (3) an einem Kreisrahmen des Corioliskreisels durch erste Federelemente ( $5_1$  bis  $5_4$ ) befestigt, und der zweite Schwinger (4) an dem ersten Schwinger (3) durch zweite Federelemente ( $6_1$ ,  $6_2$ ) befestigt ist, mit den folgenden Schritten:
- Ermitteln des Quadraturbias des Corioliskreisels,
  - 10 - Erzeugen eines elektrostatischen Felds zur Änderung der gegenseitigen Ausrichtung der beiden Schwinger (3, 4) zueinander, wobei durch das elektrostatische Feld eine Gleichkraft erzeugt wird, die eine Änderung der Ausrichtung der ersten Federelemente ( $5_1$  bis  $5_4$ ) und/oder eine Änderung der Ausrichtung der zweiten Federelemente ( $6_1$ ,  $6_2$ ) bewirkt, und die Ausrichtung/Stärke des elektrostratischen Felds so geregelt wird, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausrichtung der ersten Federelemente ( $5_1$  bis  $5_4$ ) geändert wird, indem die Position/Ausrichtung des ersten Schwingers (3) durch das elektrostatische Feld geändert wird, und dass die Ausrichtung der zweiten Federelemente ( $6_1$ ,  $6_2$ ) geändert wird, indem die Position/Ausrichtung des zweiten Schwingers (4) durch das elektrostatische Feld geändert wird.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das elektrische Feld eine Orthogonalisierung der Ausrichtungen der ersten und zweiten Federelemente ( $6_1$ ,  $6_2$ ,  $5_1$  bis  $5_4$ ) zueinander bewirkt.
4. Corioliskreisels, mit einem ersten Resonator (1), der als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger (3, 4) ausgestaltet ist, wobei der erste Schwinger (3) an einem Kreisrahmen des Corioliskreisels durch erste Federelemente ( $5_1$  bis  $5_4$ ) befestigt, und der zweite Schwinger (4) an dem ersten Schwinger (3) durch zweite Federelemente ( $6_1$ ,  $6_2$ ) befestigt ist, mit:
- 30 - einer Einrichtung zur Erzeugung eines elektrostatischen Felds ( $11_1'$ , ( $11_2'$ ,  $10_1$  bis  $10_4$ ), durch das die Ausrichtung der beiden Schwinger (3, 4) zueinander änderbar ist, indem durch das elektrostatische Feld eine Gleichkraft erzeugt wird, die einen Ausrichtungswinkel der ersten Federelemente ( $5_1$  bis  $5_4$ ) bezüglich des Kreisrahmens ( $7_3$ ,  $7_4$ ) und/oder einen Ausrichtungswinkel der zweiten Federelemente ( $6_1$ ,  $6_2$ ) bezüglich des ersten Schwingers (3) ändert,
  - 40 - einer Einrichtung (45, 47) zur Ermittlung eines Quadraturbias des Corioliskreisels, und

- einem Regelkreis (55, 56, 57), durch den die Stärke des elektrostatischen Felds in Abhängigkeit des ermittelten Quadraturbias so geregelt wird, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird.

5    5.    Corioliskreisel nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass sämtliche zweiten Federelemente ( $6_1$  bis  $6_2$ ), die den zweiten Schwinger (4) mit dem ersten Schwinger (3) verbinden, so ausgestaltet sind, dass eine Krafteinleitung von dem ersten Schwinger (3) auf den zweiten Schwinger (4) im Wesentlichen von einer Seite des ersten Schwingers (3) aus erfolgt.

10

6.    Corioliskreisel nach einem der Ansprüche 4 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass sämtliche ersten Federelemente ( $5_1$  bis  $5_4$ ), die den ersten Schwinger (3) mit dem Kreisrahmen ( $7_3$ ,  $7_4$ ) des Corioliskreisels verbinden, parallel und in einer Ebene zueinander angeordnet sind, wobei die Anfangs- und Endpunkte der ersten Federelemente ( $5_1$  bis  $5_4$ ) jeweils auf einer gemeinsamen Achse liegen.

15

7.    Corioliskreisel (1') nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **gekennzeichnet durch** einen zweiten Resonator ( $70_1$ ,  $70_2$ ), der als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger ( $3_1$ ,  $3_2$ ,  $4_1$ ,  $4_2$ ) ausgestaltet ist, wobei der erste Resonator ( $70_1$ ) mit dem zweiten Resonator ( $70_2$ ) mechanisch/elektrostatisch so verbunden/gekoppelt ist, dass beide Resonatoren entlang einer gemeinsamen Schwingungsachse (72) gegentaktig zueinander in Schwingung versetzbar sind.

20

8.    Corioliskreisel (1') nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausgestaltungen des ersten und des zweiten Resonators ( $70_1$ ,  $70_2$ ) identisch sind, wobei die Resonatoren ( $70_1$ ,  $70_2$ ) achsensymmetrisch zueinander angeordnet sind bezüglich einer Symmetrieachse (73), die senkrecht auf der gemeinsamen Schwingungsachse (72) steht.

25

## **Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation in einem Corioliskreisel sowie dafür geeigneter Corioliskreisel**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation in einem  
5 Corioliskreisel sowie einen dafür geeigneten Corioliskreisel.

Corioliskreisel (auch Vibrationskreisel genannt) werden in zunehmendem Umfang zu Navigationszwecken eingesetzt; sie weisen ein Massensystem auf, das in Schwingungen versetzt wird. Jedes Massensystem hat in der Regel eine Vielzahl  
10 von Schwingungsmoden, die zunächst voneinander unabhängig sind. Zum Betrieb des Corioliskreisels wird ein bestimmter Schwingungsmodus des Massensystems künstlich angeregt, der im Folgenden als "Anregungsschwingung" bezeichnet wird. Wenn der Corioliskreisel gedreht wird, treten Corioliskräfte auf, die der Anregungsschwingung des Massensystems Energie entnehmen und damit einen  
15 weiteren Schwingungsmodus des Massensystems, der im Folgenden als "Ausleseschwingung" bezeichnet wird, übertragen. Um Drehungen des Corioliskreisels zu ermitteln, wird die Ausleseschwingung abgegriffen und ein entsprechendes Auslesesignal daraufhin untersucht, ob Änderungen in der Amplitude der Ausleseschwingung, die ein Maß für die Drehung des Corioliskreisels darstellen, aufgetreten sind. Corioliskreisel können sowohl als Open-Loop-System als auch als  
20 Closed-Loop-System realisiert werden. In einem Closed-Loop-System wird über jeweilige Regelkreise die Amplitude der Ausleseschwingung fortlaufend auf einen festen Wert – vorzugsweise Null – rückgestellt, und die Rückstellkräfte gemessen.

Das Massensystem des Corioliskreisels (das im Folgenden auch als "Resonator" bezeichnet wird) kann hierbei unterschiedlichst ausgestaltet sein. Beispielsweise ist es möglich, ein einstückig ausgebildetes Massensystem zu verwenden. Alternativ ist es möglich, das Massensystem in zwei Schwinger aufzuteilen, die miteinander über ein Federsystem gekoppelt sind und Relativbewegungen zueinander ausführen können. Beispielsweise ist es bekannt, ein gekoppeltes System aus  
30 zwei linearen Schwingern zu verwenden, das auch als lineares Doppelschwingersystem bezeichnet wird. Verwendet man ein derartiges gekoppeltes System, so sind aufgrund von Fertigungstoleranzen Fehlausrichtungen der beiden Schwinger zueinander unvermeidlich. Die Fehlausrichtungen der beiden Schwinger zueinander erzeugen einen Nullpunktfehleranteil im gemessenen Drehratensignal, den  
35 sogenannten "Quadraturbias" (genauer gesagt: einen Quadraturbias-Anteil).

Zur Kompensation des Quadraturbias kommen Verfahren zum Einsatz, wie sie beispielsweise in den Druckschriften US-A-2003/061877, WO-A-03/058167 sowie  
40 US-A-6,067,858 gezeigt sind. In diesem Verfahren werden zur Kompensation des Quadraturbias Wechselkräfte eingesetzt.

Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe ist es, ein Verfahren und einen Corioliskreisels anzugeben, mit dem ein derartiger Quadraturbiasanteil kompensiert werden kann.

- 5 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation für einen Resonator mit zwei linearen Schwingern gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Weiterhin stellt die Erfindung eine dafür geeignete Ausführungsform eines Corioliskreisels gemäß Patentanspruch 4 bereit. Vorteilhafte Ausgestaltungen bzw. Weiterbildungen des Erfindungsgedankens finden sich in  
10 jeweiligen Unteransprüchen.

Um ein besseres Verständnis des technischen Hintergrunds des erfindungsgemäßen Verfahrens zu bekommen, sei in der folgenden Beschreibung nochmals kurz auf die physikalischen Grundlagen eines Corioliskreisels anhand des Beispiels eines linearen Doppelschwingersystems eingegangen.  
15

Die Corioliskraft lässt sich darstellen als:

$$\vec{F} = 2m\vec{v}_s x \vec{\Omega} \quad (1)$$

- 20  $\vec{F}$  Corioliskraft  
 $m$  Masse des Schwingers  
 $\vec{v}_s$  Geschwindigkeit des Schwingers  
 $\vec{\Omega}$  Drehrate

- 25 Ist die auf die Corioliskraft reagierende Masse gleich der schwingenden Masse und wird der Schwinger mit der Eigenfrequenz  $\omega$  betrieben, so gilt:

$$2m\vec{v}_s x \vec{\Omega} = m\vec{a}_c \quad (2)$$

- 30 Für die Schwingergeschwindigkeit gilt:

$$\vec{v}_s = \vec{v}_{s0} \sin \omega t \quad (3)$$

mit

$\vec{v}_{s0}$  Schwtngeramplitude

- 35  $\omega$  Eigenfrequenz des Schwingers

Somit gilt für die Schwinger- und Coriolisbeschleunigungen:

$$\begin{aligned}\vec{a}_s &= \vec{v}_{s0} \omega \cos \omega t \\ \vec{a}_c &= 2\vec{v}_{s0} \sin \omega t \times \vec{\Omega}\end{aligned}\quad (4)$$

Damit stehen die beiden Beschleunigungsvektoren räumlich senkrecht aufeinander und sind in der Zeitfunktion um  $90^\circ$  gegeneinander versetzt (räumliche und zeitliche Orthogonalität).

Diese beiden Kriterien können benutzt werden, um die Schwingerbeschleunigung  $\vec{a}_s$  von der Coriolisbeschleunigung  $\vec{a}_c$  zu trennen. Das Verhältnis der o. g. Beschleunigungsamplituden  $a_c$  und  $a_s$  beträgt:

$$\frac{a_c}{a_s} = \frac{2\Omega}{\omega} \quad (5)$$

Für eine Drehrate  $\Omega = 5^\circ/\text{h}$  und eine Eigenfrequenz des Schwingers  $f_s = 10 \text{ KHz}$  ergibt sich:

$$\frac{a_c}{a_s} = 7,7 \cdot 10^{-10} \quad (6)$$

Für eine Genauigkeit von  $5^\circ/\text{h}$  dürfen unerwünschte Kopplungen des ersten Schwingers auf den zweiten Schwinger höchstens  $7,7 \cdot 10^{-10}$  betragen oder auf diesem Wert konstant sein. Verwendet man ein Massensystem aus zwei linearen Schwingern, die über Federelemente miteinander gekoppelt sind, so ist die Genauigkeit der räumlichen Orthogonalität aufgrund der Fehlausrichtung der Federelemente zwischen Schwing- und Messmode begrenzt. Die erreichbare Genauigkeit (durch Fertigungstoleranzen begrenzt) beträgt  $10^{-3}$  bis  $10^{-4}$ . Die Genauigkeit der zeitlichen Orthogonalität wird durch die Phasengenauigkeit der Elektronik bei z. Bsp.  $10 \text{ KHz}$  begrenzt, die ebenfalls nur auf höchstens  $10^{-3}$  bis  $10^{-4}$  einzuhalten ist. Daraus folgt, dass das oben definierte Verhältnis der Beschleunigungen nicht eingehalten werden kann.

Realistisch ergibt sich ein Fehler des gemessenen Beschleunigungsverhältnisses  $a_c/a_s$  von

$$\frac{a_c}{a_s} = 10^{-6} \text{ bis } 10^{-8} \quad (7)$$

Der räumliche Fehler resultiert in einem sogenannten Quadraturbias  $B_Q$ , der mit dem zeitlichen Phasenfehler  $\Delta_\varphi$  einen Bias  $B$  ergibt:



$$B_Q = 6,5 \cdot 10^6 \text{ }^\circ/\text{h bis } 6,5 \cdot 10^5 \text{ }^\circ/\text{h}$$

$$\Delta_\varphi = 10^{-3} \text{ bis } 10^{-4}$$

(8)

5

$$B = B_Q \cdot \Delta_\varphi = 6.500 \text{ }^\circ/\text{h bis } 65 \text{ }^\circ/\text{h}$$

Somit bewirkt der Quadraturbias eine starke Einschränkung der Messgenauigkeit. Dabei ist anzumerken, dass o. g. Fehlerbetrachtung nur die direkte Kopplung vom Schwing- in den Auslesemode berücksichtigt. Es existieren noch weitere Quadraturbiasanteile, die beispielsweise durch Kopplungen mit anderen Schwingungsmoden entstehen.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation lässt sich insbesondere auf Corioliskreisel anwenden, deren Resonatoren als gekoppelte Systeme aus wenigstens einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger ausgestaltet sind, und weist die folgenden Schritte auf:

- Ermitteln des Quadraturbias des Schwingersystems, und
- Erzeugen eines elektrostatischen Felds zur Änderung der gegenseitigen Ausrichtung der beiden Schwinger zueinander, wobei die Ausrichtung/Stärke des elektrostatischen Felds so geregelt wird, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird.

Hierbei wird vorzugsweise der gesamte Quadraturbias des Schwingersystems ermittelt. Dies erfolgt vorzugsweise durch Demodulation eines durch Ausleseelektroden erzeugten Auslesesignals mit  $0^\circ$  und entsprechender Rückstellung. Alternativ ist es möglich, gezielt nur den Teil des Quadraturbias zu ermitteln, der durch die Fehlausrichtung der beiden linearen Schwinger zueinander bewirkt wird. Der Begriff "Quadraturbias" beinhaltet beide Alternativen.

Der Quadraturbias wird also am Entstehungsort selbst eliminiert, d. h. mechanische Fehlausrichtungen der beiden Schwinger zueinander werden durch eine elektrostatische Kraft, die auf einen oder beide Schwinger wirkt und durch das elektrostatische Feld erzeugt wird, kompensiert.

Der Corioliskreisel weist erste und zweite Federelemente auf, wobei der erste Schwinger durch die ersten Federelemente mit einem Kreisrahmen des Corioliskreisels verbunden ist, und der zweite Schwinger durch die zweiten Federelemente mit dem ersten Schwinger verbunden ist. Das elektrostatische Feld bewirkt hierbei eine Änderung der Ausrichtung der ersten Federelemente und/oder eine Änderung der Ausrichtung der zweiten Federelemente. Vorzugsweise wird die Ausrichtung der zweiten Federelemente geändert, indem die Positi-

on/Ausrichtung des zweiten Schwingers durch das elektrostatische Feld geändert wird. Analog hierzu wird die Ausrichtung der ersten Federelemente vorzugsweise dadurch geändert, dass die Position/Ausrichtung des ersten Schwingers durch das elektrostatische Feld geändert wird. Die Änderung der Positionen/Ausrichtungen der Schwinger bewirken hierbei eine Verbiegung der Federelemente, die an den Schwingern befestigt sind, womit entsprechende Ausrichtungswinkel der ersten zu zweiten Federelementen korrigiert werden können.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform werden durch das elektrische Feld die Ausrichtungswinkel der ersten und zweiten Federelemente so geändert, dass eine Orthogonalisierung der Ausrichtungen der ersten und zweiten Federelemente zueinander bewirkt wird. Ist eine derartige Orthogonalisierung erreicht, so ist der dadurch erzeugte Quadraturbias(anteil) kompensiert. Bei weiteren Beiträgen zum Quadraturbias wird der Fehlwinkel zur Orthogonalität so eingestellt, dass der gesamte Quadraturbias verschwindet. Vorzugsweise werden die Ausrichtungswinkel der zweiten Federelemente bezüglich des ersten Schwingers durch das elektrostatische Feld geändert, und die Ausrichtungswinkel der ersten Federelemente bezüglich des Kreiselrahmens des Corioliskreisels nicht geändert. Es ist jedoch auch möglich, durch das elektrostatische Feld lediglich die Ausrichtungswinkel der ersten Federelemente zu ändern, oder die Ausrichtungswinkel sowohl der ersten als auch der zweiten Federelemente zu ändern.

Das erfindungsgemäße Verfahren stellt ferner einen Corioliskreisels bereit, dessen Resonator als gekoppeltes System aus wenigstens einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger ausgestaltet ist, und der

- eine Einrichtung zur Erzeugung eines elektrostatischen Felds, durch das die Ausrichtung der beiden Schwinger zueinander änderbar ist,
- eine Einrichtung zur Ermittlung eines Quadraturbias, der durch Fehlausrichtungen der beiden Schwinger zueinander und weiteren Kopplungsmechanismen verursacht wird, und
- einen Regelkreis aufweist, wobei der Regelkreis die Stärke des elektrostatischen Felds in Abhängigkeit des ermittelten Quadraturbias so regelt, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird.

Der Corioliskreisels weist erste und zweite Federelemente auf, wobei die ersten Federelemente den ersten Schwinger mit dem Kreiselrahmen des Corioliskreisels verbinden, und die zweite Federelemente den zweiten Schwinger mit dem ersten Schwinger verbinden. Die Ausrichtungen der ersten und zweiten Federelemente verlaufen hierbei vorzugsweise senkrecht zueinander. Die Federelemente können hierbei eine beliebige Form aufweisen.

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, den zweiten Schwinger am ersten Schwinger "einseitig" zu befestigen bzw. einzuspannen. "Einseitig eingespannt" kann hierbei sowohl wörtlich als auch in einem allgemeinen Sinn verstanden werden. Allgemein bedeutet "einseitig" befestigt bzw. eingespannt, dass die Krafteinleitung von  
5 dem ersten Schwinger auf den zweiten Schwinger im Wesentlichen von einer "Sei-

Letter from MÜLLER HOFFMAN & PARTNER

To: The European Patent Office  
D-80298 Munich

PCT/EP2004/013447  
LITEF GMBH  
Our reference: 56.205

24 October 2005  
Mü/My/cr

**With regard to the written opinion of the international  
searching authority dated March 4, 2005:**

1. Please find attached the following documents:

- new patent claims 1 to 8;
- new description pages 1 to 5a;

2. The international provisional examination proceedings  
should be continued and/or completed using the following  
documents:

- new patent claims 1 to 8 as attached;
- new description pages 1 to 5a as attached;
- original description pages 6 to 15;
- original figure sheets 1/4 to 4/4 with the Figures 1  
to 4.

3. The newly submitted patent claims 1 to 8 correspond to the  
patent claims 1 to 8 submitted to the WIPO with the letter  
dated May 4, 2005 (PCT Article 19).

The new patent claim 1 is based on a combination of the  
original patent claims 1, 2 and 5.

Since the quadrature-bias compensation method defined in the  
new patent claim 1 is not disclosed in document D1, the  
quadrature-bias compensation method according to the new  
patent claim 1 is novel in comparison to document D1.

The new patent claims 2 and 3 correspond to the original patent claims 3 and 4. The new patent claim 4 is based on a combination of the original patent claims 6, 7, 8 and 9. The new patent claims 5 to 8 correspond to the original patent claims 10 to 15. The original patent claims 9 to 15 have been deleted.

4. The quadrature compensation method described in document D1 (US 2003/0061877 A1) is based on the use of alternating forces, whose frequency and phase depend directly on the excitation oscillation (that is to say the oscillation behavior of the "dither mass" (reference numbers 87, 99)). The alternating force is produced by the electrodes which are annotated with the reference numbers 121, 127 and to which a DC voltage is applied. Since the electrodes (reference numbers 93, 105) which correspond to them of the sensing oscillators (reference numbers 89, 10) move in a reciprocating manner when the excitation oscillators (reference numbers 87, 99) are excited via the electrodes 121, 127, capacitive coupling effects between the electrodes 93, 121 and 105, 127 result in alternating forces whose strength is regulated by the magnitude of the DC voltage and which are used to compensate for the quadrature bias.

The method which is disclosed in document D1 has the disadvantage that the electrode structure which is required for quadrature-bias compensation is relatively complicated. Furthermore, the actual cause of the quadrature bias - the non-orthogonality of the excitation oscillation (of the excitation oscillator) with respect to the sensing oscillation (with respect to the sensing oscillator) - is not overcome.

In contrast to this, in the quadrature-bias compensation method according to the invention, the mutual alignment of the excitation oscillator with respect to the sensing oscillator is varied (by appropriate alignment of the spring elements (for example by making them orthogonal) on which the oscillators are suspended). The quadrature bias is thus

**Patent Claims**

1. A method for quadrature-bias compensation in a Coriolis gyro, whose resonator (1) is in the form of a coupled system comprising a first and a second linear oscillator (3, 4), in which the first oscillator (3) is attached to a gyro frame of the Coriolis gyro by means of first spring elements (5<sub>1</sub> to 5<sub>4</sub>) and the second oscillator (4) is attached to the first oscillator (3) by means of second spring elements (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>), having the following steps:

- determination of the quadrature bias of the Coriolis gyro,
- production of an electrostatic field in order to vary the mutual alignment of the two oscillators (3, 4) with respect to one another, with the electrostatic field producing a constant force which causes a change in the alignment of the first spring elements (5<sub>1</sub> to 5<sub>4</sub>) and/or a change in the alignment of the second spring elements (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>), and with the alignment/strength of the electrostatic field being regulated such that the determined quadrature bias is as small as possible.

2. The method as claimed in claim 1, **characterized** in that the alignment of the first spring elements (5<sub>1</sub> to 5<sub>4</sub>) is varied by varying the position/alignment of the first oscillator (3) by means of the electrostatic field, and in that the alignment of the second spring elements (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>) is varied by varying the position/alignment of the second oscillator (4) by means of the electrostatic field.

3. The method as claimed in claim 1 or 2, **characterized** in that the electrical field results in the alignments of the first and second spring elements (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>, 5<sub>1</sub> to 5<sub>4</sub>) being made orthogonal with respect to one another.

4. A Coriolis gyro, <sup>to be</sup> having a first resonator (1) which is in the form of a coupled system comprising a first and a second linear oscillator (3, 4), with the  
5 first oscillator (3) being attached to a gyro frame of the Coriolis gyro by means of first spring elements (5<sub>1</sub> to 5<sub>4</sub>), and the second oscillator (4) being attached to the first oscillator (3) by means of second spring elements (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>), having,  
10 - a device for production of an electrostatic field (11<sub>1</sub>', 11<sub>2</sub>', 10<sub>1</sub> to 10<sub>4</sub>) by means of which the alignment of the two oscillators (3, 4) with respect to one another can be varied, in which the electrostatic field produces a constant force which varies the alignment  
15 angle of the first spring elements (5<sub>1</sub> to 5<sub>4</sub>) with respect to the gyro frame (7<sub>3</sub>, 7<sub>4</sub>) and/or the alignment angle of the second spring elements (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>) with respect to the first oscillator (3),  
- a device (45, 47) for determination of a  
20 quadrature bias of the Coriolis gyro, and  
- a control loop (55, 56, 57), by means of which the strength of the electrostatic field is regulated as a function of the determined quadrature bias such that the determined quadrature bias is as small as possible.

25  
5. The Coriolis gyro as claimed in claim 4, **characterized** in that all of the second spring elements (6<sub>1</sub> to 6<sub>2</sub>) which connect the second oscillator (4) to the first oscillator (3) are designed such that force  
30 is introduced from the first oscillator (3) to the second oscillator (4) essentially from one side of the first oscillator (3).

35  
6. The Coriolis gyro as claimed in one of claims 4 to 5, **characterized** in that all of the first spring elements (5<sub>1</sub> to 5<sub>4</sub>) which connect the first oscillator (3) to the gyro frame (7<sub>3</sub>, 7<sub>4</sub>) of the Coriolis gyro are

- 25 -

arranged parallel and on the same plane as one another,  
with the start and end points of the first spring  
elements (5<sub>1</sub> to 5<sub>4</sub>) each being located on a common axis.

- 5 7. A Coriolis gyro (1') as claimed in one of claims 4  
to 6, **characterized** by a second resonator (70<sub>1</sub>, 70<sub>2</sub>),  
which is in the form of a coupled system comprising a  
first and a second linear oscillator (3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>, 4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub>),  
with the first resonator (70<sub>1</sub>) being  
10 mechanically/electrostatically connected/coupled to the  
second resonator (70<sub>2</sub>) such that the two resonators can  
be caused to oscillate in antiphase with respect to one  
another along a common oscillation axis (72).
- 15 8. The Coriolis gyro (1') as claimed in claim 7,  
**characterized** in that the configurations of the first  
and of the second resonator (70<sub>1</sub>, 70<sub>2</sub>) are identical,  
with the resonators (70<sub>1</sub>, 70<sub>2</sub>) being arranged axially  
symmetrically with respect to one another, with respect  
20 to an axis of symmetry (73) which is at right angles to  
the common oscillation axis (72).



**Method for quadrature-bias compensation in a Coriolis gyro, as well as a Coriolis gyro which is suitable for this purpose**

The invention relates to a method for quadrature-bias compensation in a Coriolis gyro, and to a Coriolis gyro which is suitable for this purpose.

Coriolis gyros (also referred to as vibration gyros) are being increasingly used for navigation purposes; they have a mass system which is caused to oscillate. Each mass system generally has a large number of oscillation modes, which are initially independent of one another. In order to operate the Coriolis gyro, a specific oscillation mode of the mass system is artificially excited, and this is referred to in the following text as the "excitation oscillation". When the Coriolis gyro is rotated, Coriolis forces occur which draw energy from the excitation oscillation of the mass system and thus transmit a further oscillation mode of the mass system, which is referred to in the following text as the "read oscillation". In order to determine rotations of the Coriolis gyro, the read oscillation is tapped off and a corresponding read signal is investigated to determine whether any changes have occurred in the amplitude of the read oscillation which represent a measure of the rotation of the Coriolis gyro. Coriolis gyros may be in the form of both an open-loop system and a closed-loop system. In a closed-loop system, the amplitude of the read oscillation is continuously reset to a fixed value - preferably zero - via respective control loops, and the resetting forces are measured.

The mass system of the Coriolis gyro (which is also referred to in the following text as the "resonator") may in this case be designed in widely differing ways. For example, it is possible to use an integral mass system. Alternatively, it is possible to split the mass system into two oscillators, which are coupled to one another via a spring system and can carry out relative movements with respect to one another. For example, it is known for a coupled system comprising two

linear oscillators to be used, and this is also referred to as a linear double-oscillator system. If a coupled system such as this is used, then alignment errors of the two oscillators with respect to one another are unavoidable, because of manufacturing tolerances. The alignment errors of the two oscillators with respect to one another produce a zero error component in the measured rotation rate signal, the so-called "quadrature bias" (or to be more precise: a quadrature-bias component).

Methods such as those disclosed, for example, in the documents US-A-2003/061877, WO-A-03/058167 and US-A-6,067,858 are used to compensate for the quadrature bias. Alternating forces are used to compensate for the quadrature bias in this method.

The object on which the invention is based is to specify a method and a Coriolis gyro by means of which it is possible to compensate for a quadrature-bias component such as this.

According to the invention, this object is achieved by a method for quadrature-bias compensation for a resonator having two linear oscillators as claimed in patent claim 1. The invention also provides an embodiment of a Coriolis gyro which is suitable for this purpose, as claimed in patent claim 4. Advantageous refinements and developments of the idea of the invention can be found in the respective dependent claims.

In order to assist understanding of the technical background of the method according to the invention, the physical principles of a Coriolis gyro will be explained briefly once again in the following description, with reference to the example of a linear double-oscillator system.

The Coriolis force can be represented as:

$$\vec{F} = 2m\vec{v} \times \vec{\Omega} \quad [1]$$

$\vec{F}$  Coriolis force

$m$  Mass of the oscillator

$\vec{v}_s$  Velocity of the oscillator

$\vec{\Omega}$  Rotation rate

If the mass which reacts to the Coriolis force is equal to the oscillating mass, and if the oscillator is operated at the natural frequency  $\omega$  then:

$$2m\vec{v}_s \times \vec{\Omega} = m\vec{a}_c \quad [2]$$

The oscillator velocity is given by:

$$\vec{v}_s = \vec{v}_{s0} \sin \omega t \quad [3]$$

where

$\vec{v}_{s0}$  oscillator amplitude

$\omega$  natural frequency of the oscillator

The oscillator and Coriolis accelerations are thus given by:

$$\begin{aligned} \vec{a}_s &= \vec{v}_{s0} \omega \cos \omega t \\ \vec{a}_s &= 2\vec{v}_{s0} \sin \omega t \times \vec{\Omega} \end{aligned} \quad [4]$$

The two acceleration vectors are thus spatially at right angles to one another and are offset through  $90^\circ$  with respect to one another in the time function (spatial and time orthogonality).

These two criteria can be used in order to separate the oscillator acceleration  $\vec{a}_s$  from the Coriolis acceleration  $\vec{a}_c$ . The ratio of the above mentioned acceleration amplitudes  $a_c$  and  $a_s$  is:

$$\frac{a_c}{a_s} = \frac{2\omega}{\omega} \quad (5)$$

If the rotation rate is  $\Omega = 5^\circ/\text{h}$  and the natural frequency of the oscillator is  $f_s = 10 \text{ KHz}$ , then:

$$\frac{a_c}{a_s} = 7.7 \cdot 10^{-10} \quad (6)$$

For an accuracy of  $5^\circ/\text{h}$ , undesirable couplings of the first oscillator to the second oscillator must not exceed  $7.7 \cdot 10^{-10}$ , or must be constant at this value. If a mass system composed of two linear oscillators is used, which are coupled to one another via spring elements, then the accuracy of the spatial orthogonality is limited because of the alignment error of the spring elements between the oscillation mode and the measurement mode. The achievable accuracy (limited by manufacturing tolerances) is  $10^{-3}$  to  $10^{-4}$ . The accuracy of the time orthogonality is limited by the phase accuracy of the electronics at, for example, 10 KHz, which can likewise be complied with only to at most  $10^{-3}$  to  $10^{-4}$ . This means that the ratio of the accelerations as defined above cannot be satisfied.

Realistically, the resultant error in the measured acceleration ratio  $a_c/a_s$  is:

$$\frac{a_c}{a_s} = 10^{-6} \text{ to } 10^{-8} \quad (7)$$

The spatial error results in a so-called quadrature bias  $B_Q$ , which, together with the time phase error  $\square_\square$ , results in a bias B:

$$B_Q = 6.5 \cdot 10^6 / \text{h} \text{ to } 6.5 \cdot 10^5 / \text{h}$$

$$\square_\square = 10^{-3} \text{ to } 10^{-4} \quad (8)$$

$$B = B_Q \cdot \square_\square = 6,500^\circ / \text{h} \text{ to } 65^\circ / \text{h}$$

The quadrature bias thus results in a major restriction of the measurement accuracy. In this case, it should be noted that the above error analysis takes account only of the direct coupling of the oscillation mode to the read mode. Further quadrature-bias components also exist and occur, for example,

as a result of couplings with other oscillation modes.

The method according to the invention for quadrature-bias compensation can be applied, in particular, to Coriolis gyros whose resonators are in the form of coupled systems comprising at least one first and one second linear oscillator, and has the following steps:

- determination of the quadrature bias of the oscillator system,
- production of an electrostatic field in order to vary the mutual alignment of the two oscillators with respect to one another, with the alignment/strength of the electrostatic field being regulated such that the determined quadrature bias is as small as possible.

The total quadrature bias of the oscillator system is preferably determined in this case. This is preferably done by demodulation of a read signal, which is produced by means of read electrodes, with  $0^\circ$  and appropriate resetting. Alternatively, it is possible to deliberately determine only a portion of the quadrature bias, which is produced by the alignment error of the two linear oscillators with respect to one another. The expression "quadrature bias" covers both alternatives.

The quadrature bias is thus eliminated at its point of origin itself, that is to say mechanical alignment errors of the two oscillators with respect to one another are compensated for by means of an electrostatic force which acts on one or both oscillators and is produced by the electrostatic field.

The Coriolis gyro has first and second spring elements, with the first oscillator being connected by means of the first spring elements to a gyro frame of the Coriolis gyro, and the second oscillator being connected by means of the second spring elements to the first oscillator. The electrostatic field in this case results in a change in the alignment of the

first spring elements and/or a change in the alignment of the second spring elements. The alignment of the second spring elements is preferably varied by varying the position/alignment of the second oscillator by means of the electrostatic field. Analogously to this, the alignment of the first spring elements is preferably varied by varying the position/alignment of the first oscillator by means of the electrostatic field. The change in the positions/alignments of the oscillators in this case results in bending of the spring elements which are attached to the oscillators, thus making it possible to correct corresponding alignment angles of the first spring elements with respect to the second spring elements.

In one particularly preferred embodiment, the electrical field is used to vary the alignment angles of the first and second spring elements such that the alignments of the first and second spring elements are made orthogonal with respect to one another. Once they have been made orthogonal in this way, this compensates for the quadrature-bias (component) that is produced in this way. If there are any further contributions to the quadrature bias, the angle error with respect to orthogonality is adjusted such that the total quadrature bias disappears. The alignment angles of the second spring elements with respect to the first oscillator are preferably varied by means of the electrostatic field, and the alignment angles of the first spring elements with respect to the gyro frame of the Coriolis gyro are not changed. However, it is also possible to use the electrostatic field to vary only the alignment angles of the first spring elements, or to vary the alignment angles of both the first and the second spring elements.

The method according to the invention furthermore provides a Coriolis gyro whose resonator is in the form of a coupled system comprising at least one first and one second linear oscillator, and which has

- a device for production of an electrostatic field by means of which the alignment of the two oscillators with respect to one another can be varied,
- a device for determination of any quadrature bias which is caused by alignment errors of the two oscillators with respect to one another and further coupling mechanisms, and
- a control loop, with the control loop regulating the strength of the electrostatic field as a function of the determined quadrature bias such that the determined quadrature bias is as small as possible.

The Coriolis gyro has first and second spring elements, with the first spring elements connecting the first oscillator to the gyro frame of the Coriolis gyro, and the second spring elements connecting the second oscillator to the first oscillator. The alignments of the first and second spring elements are in this case preferably at right angles to one another. The spring elements may in this case be of any desired form.

It has been found to be advantageous for the second oscillator to be attached to or clamped in on the first oscillator "at one end". "Clamped in at one end" can in this case be understood not only in the sense of the literal wording but also in a general sense. In general, attached or clamped in "at one end" means that the force is introduced from the first oscillator to the second oscillator essentially from one

